

Capítulo 4

Elasticidad

Ley de Hooke

Cuando estiramos o comprimimos un muelle, la fuerza recuperadora es directamente proporcional al cambio de longitud x respecto de la posición de equilibrio:

$$F = -k x$$

siendo k una constante de proporcionalidad, denominada constante elástica del muelle. El signo menos en la ecuación anterior se debe a que la fuerza recuperadora es opuesta a la deformación.

La energía potencial elástica correspondiente a la anterior fuerza es igual a:

$$E_p(x) = \frac{1}{2} k x^2$$

Módulo de Young

Cuando dos fuerzas iguales, pero de sentido contrario, comprimen a un cuerpo, se dice que éste está sometido a un esfuerzo de **compresión**. Si las fuerzas estiran el cuerpo, el esfuerzo es de **tracción**.

Un esfuerzo cambia la longitud de una barra una distancia ΔL dada por:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{E} \frac{F}{A}$$

donde L es la longitud de la barra y A su sección. E es el módulo de Young, que nos da el grado de rigidez del material.

El cociente $\Delta L/L \equiv \epsilon$ se conoce como **deformación**. La fuerza por unidad de área se denomina **esfuerzo** y se denota por $\sigma \equiv F/A$.

El *límite elástico* es el esfuerzo máximo para el que la deformación es reversible. El regimen lineal es aquel en el que se verifica la ecuación anterior. Existe un *esfuerzo de rotura* para el que el sólido no resiste tanta deformación y se rompe.

El módulo de Young E posee unidades de N/m^2 .

Flexión

La **flexión** se produce cuando aplicamos dos momentos iguales, pero de sentidos opuestos. Cada uno de esos momentos es un par de fuerzas iguales, pero opuestas, y su módulo, denominado momento flexor, es el módulo de la fuerza por la distancia.

El momento flexor es igual a:

$$M = \frac{E}{R} I$$

en donde R es el radio de curvatura que adquiere la barra e I el momento de inercia respecto de la superficie neutra:

$$I = \int_0^{x_{\max}} x^2 l(x) dx$$

La deformación a una distancia x del centro, para un radio de curvatura R , es $\epsilon = x/R$.

El momento de inercia de una barra rectangular es $ab^3/12$, siendo a el lado apoyado y b el otro. El de un cilindro macizo vale $\pi r^4/4$, y el de uno hueco $\pi(r_1^4 - r_2^4)/4$, siendo r_1 el radio exterior y r_2 el interior.

Una columna es capaz de aguantar su propio peso hasta una altura dada por:

$$l_{\max} = c r^{2/3}$$

en donde r es el radio de la sección y c una constante de proporcionalidad que depende del módulo de Young y de la densidad del material.

Coeficiente de Poisson

La deformación de cualquiera de las dos dimensiones laterales en un esfuerzo de compresión o de tracción viene dada por:

$$\epsilon_y = \epsilon_z = \frac{\alpha}{E} \sigma_x$$

en donde $\epsilon_y = \Delta y/y$, $\epsilon_z = \Delta z/z$ y hemos utilizado el subíndice x en el esfuerzo para significar la dirección en la que se produce.

El parámetro α se denomina coeficiente de Poisson.

Deformaciones volumétricas

La presión ejerce una misma fuerza por unidad de área en todas las direcciones y siempre perpendicular a la superficie.

El cambio de volumen debido a una presión viene dado por:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{B} p$$

B es el módulo volumétrico de compresión.

Encontramos que:

$$B = \frac{E}{3(1 - 2\alpha)}$$

B se mide en unidades de N/m^2 .

Deslizamiento

En un esfuerzo de **cizalladura** las fuerzas se aplican en dirección tangencial a la caras sobre las que actúan. El sólido reacciona inclinándose y la deformación correspondiente se denomina de deslizamiento.

La deformación viene dada por:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{G} \frac{F}{A}$$

La constante G , conocida como módulo de cizalladura, depende únicamente del tipo de material.

El módulo de cizalladura se puede obtener a partir del módulo de Young y del coeficiente de Poisson:

$$G = \frac{E}{2(1 + \alpha)}$$

Problema 4.1

Un muelle se estira 2 cm cuando se le cuelga una masa de 4 kg. Después se le hace oscilar a dicha masa con una amplitud de 3 cm. Determina:

- (a) la constante elástica del muelle,
 - (b) la energía de la partícula oscilando,
 - (c) la velocidad de la partícula cuando pasa por la posición de equilibrio.
-

Teoría

Solución

Problema 4.2

La energía de una partícula unida a una superficie es igual a $U_0(r - r_0)^2$, siendo r la distancia de la partícula a la superficie y r_0 la distancia de equilibrio. ¿Qué fuerza experimenta la partícula en función de su distancia a la pared?

Teoría

Solución

Problema 4.3

Una barra de cobre de 2 cm^2 de sección y 1 m de longitud se somete a una fuerza de tracción de 100 N. ¿Cuánto se estira?

Teoría

Solución

Problema 4.4

Un bloque cúbico de mármol se somete a una fuerza de compresión de 5000 N. Si se acorta 0.1 mm, ¿cuál es la dimensión de su arista?

Teoría

Solución

Problema 4.5

Una fibra elástica de 0.1 mm de radio se estira un 3 % de su longitud cuando se le aplica una fuerza de tracción de 10^{-3} N. Calcula su módulo de Young.

Teoría

Solución

Problema 4.6

¿Qué energía es necesaria para estirar una barra de acero de 1 m de longitud y 1 cm de radio una distancia de 5 mm?

Teoría

Solución

Problema 4.7

Una barra de un determinado material se acorta 1 cm bajo la acción de una fuerza. ¿Cuánto disminuirá otra barra del mismo material, pero sección doble y longitud triple que la anterior, sometida a una fuerza mitad que la primera?

Teoría

Solución

Problema 4.8

¿Cuál es la fuerza máxima de tracción que puede soportar un fémur humano de 10 cm^2 de sección? ¿Depende ésta de la longitud del hueso?

Teoría

Solución

Problema 4.9

¿Que sección habrá de poseer un cable de acero para poder levantar pesos de hasta 3000 kg?

Teoría

Solución

Problema 4.10

Si el límite elástico y lineal de un hueso de 25 cm de longitud es de $7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ y su módulo de Young es de 10^7 N/m^2 , ¿cuál es la distancia máxima que puede extirarse de forma reversible?

Teoría

Solución

Problema 4.11

Tenemos una viga rectangular de 10 y 20 cm de lados y 6 m de longitud, apoyada en sus dos extremos sobre su lado más ancho. El módulo de Young del material que forma la viga es de 10^{10} N/m². En el centro de la viga se coloca una persona de 80 kg. Calcula:

- (a) el momento de inercia de la viga respecto de su superficie neutra,
 - (b) el momento flexor que ejerce la persona,
 - (c) el radio de curvatura que adquiere la viga.
-

Teoría

Solución

Problema 4.12

Un pájaro de 50 g produce un radio de curvatura de 2 m en la rama en la que se apoya, en su extremo. Dicha rama es de 20 cm de longitud y de 2 mm de radio. ¿Cuál es el módulo de Young de la madera de la barra?

Teoría

Solución

Problema 4.13

Una barra de 4 m de longitud posee un momento de inercia respecto de su superficie neutra de 10^{-4} m^4 y está sujeta por un extremo. En el otro extremo ejercemos una fuerza de 200 N, perpendicular a la barra, y conseguimos que se mueva 10 cm. Determina:

- (a) el momento flexor aplicado,
 - (b) el radio de curvatura adoptado por la barra,
 - (c) el módulo de Young del material de la barra.
-

Teoría

Solución

Problema 4.14

Tenemos dos cilindros del mismo material y con igual longitud y masa, pero uno es macizo y el otro hueco. El radio interno del cilindro hueco es igual al radio del macizo y vale 0.05 m. ¿Cuál es la relación entre sus radios de curvatura cuando están sujetos al mismo momento flexor?

Teoría

Solución

Problema 4.15

Las hojas de una palmera de 8 m de altura forman una esfera de 1.6 m de radio. El tronco de la palmera es de 25 cm de radio, su módulo de Young vale $7 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ y su esfuerzo máximo de rotura es de $7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. Determina:

- (a) radio de curvatura máximo que puede adquirir el tronco antes de romperse,
 - (b) momento flexor máximo que puede resistir,
 - (c) velocidad máxima del viento que puede aguantar, suponiendo que el viento choca con las hojas y rebota elásticamente, con prácticamente la misma velocidad que llevaba.
-

Teoría

Solución

Problema 4.16

Un sólido posee un módulo de Young de $7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ y un coeficiente de Poisson de 0.25. ¿Cuáles son su módulo de cizalladura y su módulo volumétrico de compresión?

Teoría

Solución

Problema 4.17

Un material posee un módulo de Young de $8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ y un módulo volumétrico de compresión de $5 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$. Tenemos un cubo de dicho material de 0.3 m de arista. Calcula:

- (a) el coeficiente de Poisson del material,
 - (b) su módulo de cizalladura,
 - (c) cuánto se achata cuando se le somete a una fuerza de compresión de 10^5 N ,
 - (d) cuánto aumenta su sección en el supuesto anterior.
-

Teoría

Solución

Problema 4.18

Sometemos un bloque cúbico de hierro de 10 cm de arista a una presión de 600000 N/m^2 . ¿Cuanto disminuye su volumen?

Teoría

Solución

Problema 4.19

Un fluido disminuye un 1 % su volumen cuando lo sometemos a una presión de 10^8 N/m^2 . ¿Cuál es su módulo volumétrico de compresión?

Teoría

Solución

4.1 Un muelle se estira 2 cm cuando se le cuelga una masa de 4 kg. Después se le hace oscilar a dicha masa con una amplitud de 3 cm. Determina:

- (a) la constante elástica del muelle,
 - (b) la energía de la partícula oscilando,
 - (c) la velocidad de la partícula cuando pasa por la posición de equilibrio.
-

(a) La ley de Hooke nos da la constante elástica del muelle:

$$k = \frac{F}{x} = \frac{4 \cdot 9.8}{0.02} = 1960 \text{ N/m.}$$

(b) La energía de un movimiento armónico simple es:

$$E = \frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} 1960 \cdot 0.03^2 = 0.882 \text{ J.}$$

(c) Cuando la partícula pasa por la posición de equilibrio toda su energía es cinética, lo que nos permite determinar su velocidad:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.882}{4}} = 0.66 \text{ m/s.}$$

4.2 La energía de una partícula unida a una superficie es igual a $U_0(r - r_0)^2$, siendo r la distancia de la partícula a la superficie y r_0 la distancia de equilibrio. ¿Qué fuerza experimenta la partícula en función de su distancia a la pared?

Una fuerza unidimensional es, en función de su energía potencial, igual a:

$$F = -\frac{dU}{dr} = -\frac{d(U_0(r - r_0)^2)}{dr} = -2U_0(r - r_0).$$

4.3 Una barra de cobre de 2 cm^2 de sección y 1 m de longitud se somete a una fuerza de tracción de 100 N . ¿Cuánto se estira?

En el cuadro módulos de Young vemos que el del cobre es $120 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$. Por tanto, la barra del problema se estira una longitud:

$$\Delta L = \frac{L}{E} \frac{F}{A} = \frac{1 \cdot 100}{120 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 4.2 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

4.4 Un bloque cúbico de mármol se somete a una fuerza de compresión de 5000 N. Si se acorta 0.1 mm, ¿cuál es la dimensión de su arista?

El módulo de Young del mármol es $60 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$. Si llamamos l a la longitud de la arista, tenemos:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \frac{F}{l^2}.$$

Despejando, llegamos a:

$$l = \frac{F}{E \Delta l} = \frac{5000}{60 \cdot 10^9 \cdot 0.0001} = 0.0083 \text{ m}.$$

4.5 Una fibra elástica de 0.1 mm de radio se estira un 3 % de su longitud cuando se le aplica una fuerza de tracción de 10^{-3} N. Calcula su módulo de Young.

El módulo de Young de la fibra será:

$$E = \frac{LF}{\Delta L A} = \frac{L \cdot 10^{-3}}{0.03L\pi 10^{-8}} = 1.06 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2.$$

4.6 ¿Qué energía es necesaria para estirar una barra de acero de 1 m de longitud y 1 cm de radio una distancia de 5 mm?

La energía potencial elástica es:

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \frac{EA}{L} (\Delta L)^2 = \frac{200 \cdot 10^9 \pi 10^{-4} (5 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 1} = 785 \text{ J.}$$

Hemos tenido en cuenta que la constante k es igual a la fuerza dividida por el desplazamiento.

4.7 Una barra de un determinado material se acorta 1 cm bajo la acción de una fuerza. ¿Cuánto disminuirá otra barra del mismo material, pero sección doble y longitud triple que la anterior, sometida a una fuerza mitad que la primera?

Llamemos sin primas a las variables relativas al primer caso y con primas a las relativas al segundo. La disminución en el segundo caso es:

$$\Delta L' = \frac{L' F'}{E' A'} = \frac{3LF/2}{E 2A} = \frac{3LF}{4EA} = \frac{3}{4} 0.01 = 0.0075 \text{ m.}$$

Hemos tenido en cuenta que el módulo de Young es el mismo, pues sólo depende del tipo de material.

4.8 ¿Cuál es la fuerza máxima de tracción que puede soportar un fémur humano de 10 cm^2 de sección? ¿Depende ésta de la longitud del hueso?

El esfuerzo de rotura por tracción del fémur humano es $17 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. La fuerza de tracción máxima en nuestro caso es:

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \quad \Rightarrow \quad F_m = 0.001 \cdot 17 \cdot 10^7 = 1.7 \cdot 10^5 \text{ N}.$$

Este valor no depende de la longitud del hueso.

4.9 ¿Que sección habrá de poseer un cable de acero para poder levantar pesos de hasta 3000 kg?

El esfuerzo máximo de tracción del acero es de $50 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ y, por tanto, necesitamos una sección igual a

$$A = \frac{F_m}{A_m} = \frac{3000 \cdot 9.8}{50 \cdot 10^7} = 5.88 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.$$

4.10 Si el límite elástico y lineal de un hueso de 25 cm de longitud es de $7 \cdot 10^7$ N/m² y su módulo de Young es de 10^{10} N/m², ¿cuál es la distancia máxima que puede extirarse de forma reversible?

La distancia máxima que se puede estirar nuestro hueso viene dada por:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{E} \sigma_e.$$

Pasando L al otro término, obtenemos:

$$\Delta L = \frac{l \sigma_e}{E} = \frac{0.25 \cdot 7 \cdot 10^7}{10^{10}} = 1.75 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

4.11 Tenemos una viga rectangular de 10 y 20 cm de lados y 6 m de longitud, apoyada en sus dos extremos sobre su lado más ancho. El módulo de Young del material que forma la viga es de 10^{10} N/m². En el centro de la viga se coloca una persona de 80 kg. Calcula:

- (a) el momento de inercia de la viga respecto de su superficie neutra,
- (b) el momento flexor que ejerce la persona,
- (c) el radio de curvatura que adquiere la viga.

(a) El momento de inercia de una viga rectangular vale:

$$I = \frac{ab^3}{12} = \frac{0.2 \cdot 0.1^3}{12} = 1.67 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

siendo a el lado sobre el que apoya, que en el caso del problema es el más ancho.

- (b) El peso de la persona lo podemos suponer descompuesto en dos mitades. Una de ellas produce un momento de fuerza con la fuerza que ejerce uno de los apoyos en un extremo de la barra. La otra mitad produce con la del apoyo del otro extremo un momento opuesto al anterior. Así, el momento flexor que ejerce la persona es la mitad de su peso por la mitad de la longitud de la barra:

$$M = \frac{P}{2} \frac{l}{2} = \frac{80 \cdot 9.8}{2} \frac{6}{2} = 1176 \text{ N m.}$$

- (c) El radio de curvatura que adquiere la barra viene dado por:

$$M = \frac{E}{R} I \quad \Rightarrow \quad R = \frac{EI}{M} = \frac{10^{10} 1.67 \cdot 10^{-5}}{1176} = 142 \text{ m.}$$

4.12 Un pájaro de 50 g produce un radio de curvatura de 2 m en la rama en la que se apoya, en su extremo. Dicha rama es de 20 cm de longitud y de 2 mm de radio. ¿Cuál es el módulo de Young de la madera de la barra?

El momento flexor del pájaro es su peso por la longitud de la rama:

$$M = Pl = mgl = 0.05 \cdot 9.8 \cdot 0.2 = 0.098 \text{ N m.}$$

El módulo de Young será:

$$E = \frac{M}{RI} = \frac{4M}{R\pi r^4} = \frac{4 \cdot 0.098}{2\pi 0.002^4} = 3.9 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2.$$

4.13 Una barra de 4 m de longitud posee un momento de inercia respecto de su superficie neutra de 10^{-4} m^4 y está sujeta por un extremo. En el otro extremo ejercemos una fuerza de 200 N, perpendicular a la barra, y conseguimos que se mueva 10 cm. Determina:

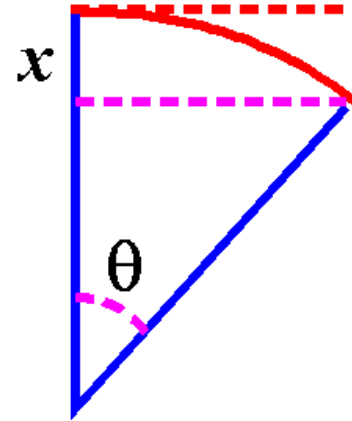
- (a) el momento flexor aplicado,
- (b) el radio de curvatura adoptado por la barra,
- (c) el módulo de Young del material de la barra.

- (a) El momento flexor aplicado será la fuerza por la longitud:

$$M = Fl = 200 \cdot 4 = 800 \text{ N m.}$$

- (b) El desplazamiento está relacionado con el radio de curvatura:

$$R - R \cos \theta = x \quad \text{y} \quad R\theta = l.$$



Suponemos que el ángulo θ es pequeño de forma que $\cos \theta \approx 1 - \frac{1}{2} \theta^2$. Por tanto:

$$R - R + \frac{1}{2} \frac{l^2}{R} = x \quad \Rightarrow \quad R = \frac{l^2}{2x} = \frac{4^2}{2 \cdot 0.1} = 80 \text{ m.}$$

- (c) El módulo de Young es:

$$E = \frac{M}{RI} = \frac{800}{80 \cdot 10^{-4}} = 10^5 \text{ N/m}^2.$$

4.14 Tenemos dos cilindros del mismo material y con igual longitud y masa, pero uno es macizo y el otro hueco. El radio interno del cilindro hueco es igual al radio del macizo y vale 0.05 m. ¿Cuál es la relación entre sus radios de curvatura cuando están sujetos al mismo momento flexor?

El momento de inercia de un cilindro hueco vale $\pi(r_1^4 - r_2^4)/4$. Por tanto, la relación entre los radios de curvatura de los cilindros del problema es:

$$\frac{R_h}{R_m} = \frac{M_m}{M_h} = \frac{\pi r_2^4/4}{\pi(r_1^4 - r_2^4)/4} = \frac{r_2^4}{r_1^4 - r_2^4}.$$

Hemos de determinar r_1 a partir del dato de que ambos cilindros poseen la misma longitud y la misma masa; las áreas de sus bases habrán de ser iguales:

$$\pi r_2^2 = \pi(r_1^2 - r_2^2) \quad \implies \quad r_1^2 = 2r_2^2.$$

Sustituyendo en la primera ecuación tenemos:

$$\frac{R_h}{R_m} = \frac{r_2^4}{r_1^4 - r_2^4} = \frac{1}{3}.$$

4.15 Las hojas de una palmera de 8 m de altura forman una esfera de 1.6 m de radio. El tronco de la palmera es de 25 cm de radio, su módulo de Young vale $7 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ y su esfuerzo máximo de rotura es de $7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. Determina:

- (a) radio de curvatura máximo que puede adquirir el tronco antes de romperse,
- (b) momento flexor máximo que puede resistir,
- (c) velocidad máxima del viento que puede aguantar, suponiendo que el viento choca con las hojas y rebota elásticamente, con prácticamente la misma velocidad que llevaba.

- (a) La deformación en la parte más externa (o interna) de la palmera es su radio dividido por el radio de curvatura: $\epsilon = r/R$. El radio de curvatura máximo viene dado por:

$$\frac{r}{R} = \frac{\sigma_m}{E} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{Er}{\sigma_m} = \frac{7 \cdot 10^9 \cdot 0.25}{7 \cdot 10^7} = 25 \text{ m.}$$

- (b) El momento flexor máximo que resiste la palmera es:

$$M_m = \frac{E}{R} I = \frac{E}{R} \pi \frac{r^4}{4} = \frac{7 \cdot 10^9 \pi 0.25^4}{25 \cdot 4} = 8.6 \cdot 10^5 \text{ N m.}$$

- (c) Este momento flexor será igual a la altura de la palmera por la fuerza que el viento ejerce sobre las hojas. Dicha fuerza es igual a la masa de aire que incide sobre las hojas por unidad de tiempo multiplicada por el cambio de velocidad, igual al doble de la velocidad:

$$\begin{aligned} M &= lF = l \frac{\Delta p}{\Delta t} = l \frac{m \Delta v}{\Delta t} = l \frac{\rho S x 2v}{\Delta t} = 2l\rho S v^2 \\ &= 2 \cdot 8 \cdot 1.3\pi 1.6^2 v^2 = 8.6 \cdot 10^5. \end{aligned}$$

De aquí despejamos v :

$$v = \sqrt{\frac{8.6 \cdot 10^5}{167}} = 72 \text{ m/s.}$$

4.16 Un sólido posee un módulo de Young de $7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ y un coeficiente de Poisson de 0.25. ¿Cuáles son su módulo de cizalladura y su módulo volumétrico de compresión?

El módulo volumétrico de compresión es:

$$B = \frac{E}{3(1 - 2\alpha)} = \frac{7 \cdot 10^{10}}{3(1 - 2 \cdot 0.25)} = 4.67 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2.$$

El módulo de cizalladura vale:

$$G = \frac{E}{3(1 + \alpha)} = \frac{7 \cdot 10^{10}}{3(1 + 0.25)} = 2.8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2.$$

4.17 Un material posee un módulo de Young de $8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ y un módulo volumétrico de compresión de $5 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$. Tenemos un cubo de dicho material de 0.3 m de arista. Calcula:

- (a) el coeficiente de Poisson del material,
 - (b) su módulo de cizalladura,
 - (c) cuánto se achata cuando se le somete a una fuerza de compresión de 10^5 N ,
 - (d) cuánto aumenta su sección en el supuesto anterior.
-

(a) Despejamos el coeficiente de Poisson de la fórmula del módulo volumétrico de compresión:

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{E}{3B} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{8 \cdot 10^{10}}{3 \cdot 5 \cdot 10^{10}} \right) = 0.23.$$

(b) El módulo de cizalladura es igual a:

$$G = \frac{E}{3(1 + \alpha)} = \frac{8 \cdot 10^{10}}{3(1 + 0.23)} = 3.25 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2.$$

(c) El achatamiento ante la compresión depende del módulo de Young:

$$\Delta l = \frac{lF}{EA} = \frac{0.3 \cdot 10^5}{8 \cdot 10^{10} 0.3^2} = 4.2 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$

(d) Cada una de las dimensiones laterales aumenta una cantidad $\alpha \Delta l$. Por tanto, el aumento de sección es:

$$\begin{aligned} \Delta A &= (l + \alpha \Delta l)^2 - l^2 \approx 2\alpha l \Delta l \\ &= 2 \cdot 0.23 \cdot 0.3 \cdot 4.2 \cdot 10^{-6} = 5.8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2. \end{aligned}$$

4.18 Sometemos un bloque cúbico de hierro de 10 cm de arista a una presión de 600000 N/m². ¿Cuanto disminuye su volumen?

Como el módulo volumétrico de compresión del hierro es $80 \cdot 10^9$ N/m², el cambio de volumen es:

$$\Delta V = \frac{V}{B}p = \frac{0.1^3 \cdot 600000}{80 \cdot 10^9} = 7.5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3.$$

4.19 Un fluido disminuye un 1 % su volumen cuando lo sometemos a una presión de 10^8 N/m^2 . ¿Cuál es su módulo volumétrico de compresión?

El módulo volumétrico de compresión del fluido en cuestión viene dado por:

$$B = \frac{V}{\Delta V} p = \frac{10^8}{0.01} = 10^{10} \text{ N/m}^2.$$
